

Sachbericht zum Projekt Regulierte
Verdauung mit proteinreichen
Nahrungsfasermischungen aus Nebenströmen
der Getreide-, Ölsaaten, Obst und
Gemüseverarbeitung in der Schweiz
(ReVeN-CH)

Kim Mishra^{*,†} and Erich J. Windhab[‡]

[†]*Verein Bredaz, Hardplatz 17, 8004 Zürich*

[‡]*Institute of Food, Nutrition and Health, ETH Zürich, Schmelzbergstrasse 9, 8092 Zürich*

E-mail: kim@bredaz.ch

Zusammenfassung

Die Kosten-Nutzen-Analyse der protein- und nahrungsfaserreichen Nebenströme der Schweiz hat ergeben, dass sich Malztreber, Obsttrester, sowie Ölsatenpresskuchen aus der Sonnenblumen- und Rapsöl Industrie aufgrund ihrer Anfallmenge und Nährstoffzusammensetzung für den menschlichen Verzehr eignen. Alle Nebenströme fallen regelmässig in grossen Mengen an und werden bis dato vor allem als Viehfutter verwendet. Die Lagerfähigkeit von Malztreber und Obsttrester ist gering und eine Gärung setzt bereits wenige Stunden nach Anfall an. Ölsatenpresskuchen sind länger haltbar, da sie weniger kurzkettige Kohlenhydrate beinhalten und deshalb weniger anfällig auf mikrobiellen Verderb sind. Malztreber enthält einen hohen Anteil an resistenten Stärken, Cellulose, Hemicellulose, Lignin und Proteinen, während Obsttrester einen hohen Anteil an Pektinen, Cellulose, Hemicellulose und einen geringen Proteinanteil aufweist. Ölsatenpresskuchen zeichnen sich durch ihren hohen Proteingehalt aus.

Die hoch Temperatur, hoch Druck, Doppelschnecken Nassextrusion (HTHDDSNE) von Malztreber hat gezeigt, dass eine Vorvermahlung und mechanische Entwässerung zu einem formfesten Extrudat führt. Das Malztreber Extrudat weist geringe Elastizität auf und ist bröcklig. Durch das Mischen von Malztreber mit Ölsatenpresskuchen wurde ein elastisches, formfestes Extrudat hergestellt, das sich durch einen hohen Protein-, sowie Nahrungsfasergehalt auszeichnet.

Es wurde eine klinische Studie durchgeführt, die den Effekt von regelmässiger Malztreberzufuhr auf die Verdauungstätigkeit aufklären soll. Hierfür wurden 6 freiwillige, männliche Teilnehmer im Alter von 30 und 31 Jahren aufgeboten. Die Teilnehmer protokollierten ihre Nahrungsaufnahme aus der die tägliche Protein-, Kohlenhydrat-, Fett-, und Nahrungsfaseraufnahme berechnet wurde. Zudem wurden die Stuhlgänge betreffend Dauer, Frequenz, sowie Konsistenz protokolliert. Dies wurde während 4 Wochen durchgeführt. Danach wurde eine Intervention während 7 Tagen durchgeführt: Jeweils 3 Teilnehmer wurden aufgefordert täglich 3 Portionen (je 10g) Malztreberextrudat (Supplementierung) oder Zwieback

(Placebo) vor den 3 Hauptmahlzeiten zu sich zu führen. Die Supplementierungsgruppe wies eine erhöhte Stuhlgangsfrequenz und eine verkürzte Stuhlgangsdauer auf während der Supplementierung und in den darauffolgenden 7 Tagen.

Die Resultate dieser Studie zeigen, dass aus nahrungsfaserreichen Nebenströmen der Schweiz formfeste Extrudate hergestellt werden können. Diese führen bei regelmässigem Verzehr zu einer Modulierung der Verdauungsaktivität und einer Erhöhung der täglichen Nahrungsfaserzufuhr. Somit können Lebensmittelverluste verringert und eine ausgewogene, gesunde Ernährung der Schweizer Bevölkerung sichergestellt werden.

Einleitung

Die transformation in ein effizientes und nachhaltiges Schweizer Ernährungssystem erfordert die Reduktion von Lebensmittelverlusten entlang der ganzen Wertschöpfungskette.¹ Rund 48% der produzierten Kalorien gehen in der Lebensmittelwertschöpfungskette verloren.¹ In der Schweiz werden jährlich 2.3 Mio t Trockensubstanz an Lebensmitteln produziert, wovon 0.51 Mio t als Nebenströme anfallen.² Viele dieser Nebenströme zeichnen sich durch einen hohen Nahrungsfaser- und Proteinanteil aus und werden deshalb als Tierfutter verwendet.³ Der direkte Verzehr dieser Nebenströme anstelle tierischer Produkte würde aus umweltnachhaltigkeits-, sowie aus gesundheitlichen Aspekten einen Mehrwert generieren.^{4,5} Der Verzehr dieser Nebenströme ist jedoch oft nicht möglich, da es keine Verfahren zur Aufwertung dieser Nebenströme für den menschlichen Verzehr gibt. Damit sich Aufwertungsverfahren rechnen, müssen sie ungeniessbaren Nebenströme in geniessbare und funktionale Lebensmittel umwandeln. Deshalb setzt sich das Projekt "Regulierte Verdauung mit Nahrungsfasern aus der Schweiz" (ReVeN-CH) zum Ziel, einen multidimensionalen Ansatz zur Wertschöpfungssteigerung von faserhaltigen Nebenströmen aus der Schweizer Lebensmittelproduktion anzuwenden. Die Faserzusammensetzung der Nebenströme soll *a priori* analysiert werden, sodass durch das Mischen verschiedener Nebenströme eine für bestimmte

Verdauungsbeschwerden massgeschneiderte Faserzusammensetzung erzielt wird. Die Aufwertung der Nebenströme erfolgt mittels hoch Temperatur, hoch Druck, Doppelschnecken Nassextrusion (HTHDDSNE), die Anforderungen an den Protein- und Feuchtegehalt der Nebenströme stellt. Der folgende Bericht soll in einem ersten Schritt aufzeigen, welche Nebenströme sich durch ihre physiologischen, sowie technologischen Eigenschaften eignen. In einem zweiten Schritt werden die geeigneten Nebenströme einzeln oder gemischt extrudiert und das Extrudat anhand seiner mechanischen Eigenschaften und seines Nährwertes beurteilt. In einem dritten Schritt wird eine kleine klinische Studie durchgeführt, die den Einfluss täglicher Zufuhren der erstellten Extrudate auf die Verdauungsaktivität der Studienteilnehmer untersucht.

Projektziele

Folgende Erkenntnisse sollten aus dem Projekt gewonnen werden:

1. Es soll eine Kosten-Nutzen-Analyse betreffend Anfall Regelmässigkeit, Anfallmenge, Lagerfähigkeit, Nahrungsfaserzusammensetzung, Nachhaltigkeit, sowie der Eignung für die HTHDDSNE der unterschiedlichen Nebenströme erstellt werden.
2. Es sollen spezifische, tägliche Zufuhren an Nahrungsfaserarten definiert werden, die Menschen mit Reizdarm Beschwerden, chronischer Obstipation, sowie mit erhöhtem HKE Risiko nach aktuellem Stand der Wissenschaft eine möglichst hohe Wahrscheinlichkeit auf Besserung/Vorbeugung ihres Leidens ermöglichen.
3. Aus den Erkenntnissen von 1. und 2. werden jene Nebenströme anteilmässig gemischt, sodass die spezifischen Nahrungsfaserbedürfnisse gedeckt sind, aber auch die ganzjährige Produktion eines formfesten Extrudates ermöglicht ist. Daraus sollen zunächst drei verschiedene spezifizierte Extrudat-Varianten abgeleitet werden.
4. Es werden HTHDDSNE Versuche durchgeführt, um die Erfüllung von 3. betreffend Formfestigkeit und technologischer Machbarkeit zu überprüfen.
5. Es wird eine sensorische und physikalische Evaluierung der drei Extrudat-Varianten aus (3., 4.) durchgeführt.
6. Es werden erste kleine qualitative Studien mit freiwilligen Teilnehmer durchgeführt, um die sensorische Akzeptanz, sowie gegebenenfalls qualitative Effekte der Bekömmlichkeit und Verdauung der unterschiedlichen Extrudate zu quantifizieren.
7. Es werden Institutionen für weitergehende, quantitative Studien mit Patienten identifiziert.

Kosten-Nutzen-Analyse

Anfallmenge und -häufigkeit, sowie Zusammensetzung Schweizer Nebenströme aus der Lebensmittelproduktion

Mosberger et al.² gliedert die organischen Verluste der Schweizer Lebensmittelindustrie nach Branchen: (1) Getränkeherstellung, Verarbeitung von Knollen, Früchten und Gemüsen (2) Verarbeitung von Olsaaten, Kaffee, Kakao (3) Fleischverarbeitung (4) Verarbeitung von Milch und Milchprodukten (5) Verarbeitung von Getreide und Backwaren. Tabelle 1 zeigt die verschiedenen schweizer Nebenströme gegliedert nach Branche, Nahrungsfaser- (NF), Protein- (PR) und Kohlenhydratgehalt (KH), sowie nach absoluter Trockenmasse (TM), Anfallmenge pro Jahr (AM) und Anfallhäufigkeit in Monaten pro Jahr (AH). Vor allem aus der Getränke- und Olsaaten-, sowie Kakao- und Kaffeebranche werden Nebenströme mit hohem Nahrungsfaser- und Proteingehalt generiert. Die Fleischverarbeitungs- und Milchbranche kommt aus hygienischen Gründen und mangels nahrungsfaserhaltigen Nebenströmen nicht in Frage. Die Getreide und Backwarenbranche hat bereits viele Möglichkeiten, die anfallenden Nebenströme weiterzuverwerten. Kakao- und Kaffeebohenschalen kommen aufgrund ihrer hohen Anteile von adstringierenden Inhaltsstoffen nicht in Frage für eine Weiterverwertung. Somit bieten sich vor allem die Malztreber, Apfeltrester und Ölsaatenpresskuchen als Nebenströme mit hohen Nahrungsfaser- und Proteinanteilen zur Weiterverarbeitung an.

Table 1: Branchenspezifische Nebenströme nach Zugehörigkeit zu den Branchen (1-5), sowie ihre typische Zusammensetzung. NF=Nahrungsfasern, PR=Protein, KH=Kohlenhydrate, TM=Trockenmasse, AM=Anfallmenge, AH=Anfallhäufigkeit. Angaben in Gewichtsprozent auf Trockenmasse, falls nicht anders spezifiziert.

Seitenstrom	Branche	NF	PR	KH	Öl	TM	AM [kt/a/CH]	AH [m/a]
Malztreber	(1)	16-72 ⁶⁻⁸	15-24 ^{6,7,9}	5-6.6 ^{9,10}	9-13 ¹⁰	78-84 ⁷	80-85 ^{3,7}	12
Apfeltrester ^{11,12}	(1)	42-51 ¹³⁻¹⁵	1-6 ¹³⁻¹⁵	48-62 ^{13,15}	1-4 ¹³⁻¹⁵	88-96 ¹³⁻¹⁵	25 ^{12,16}	3-4 ¹⁶
Traubentrester ¹¹	(1)	17-88 ^{17,18}	4-14 ^{17,18}	12-41 ^{17,18}	1-14 ^{17,18}	7 ¹⁹	17-22 ^{20,21}	1-2
Kartoffelschalen ¹¹	(1)	5-8 ²²	14-16 ²²	28-51 ²³	0.5-1 ²³	15-19 ²²	35-39 ^{24,25}	12
Kürbiskernöltrester	(2)	3-20 ²⁶⁻²⁸	30-60 ²⁶⁻²⁸	16 ²⁹	12-37 ²⁶⁻²⁸	94-96 ²⁶⁻²⁸		?
Sonnenblumenöltrester	(2)	20 ³⁰	20-38 ^{30,31}	12-50 ^{30,31}	6-25 ^{30,31}	94-95 ^{30,31}	8 ³²	
Rapsöltrester	(2)	12-17 ³³	30-38 ³³		10-15 ³³	90-98 ³³	55 ³²	
Schokoladenwasser ^{34,35}	(2)	?	?	43	10	82		12
Kakaobohnenschale ^{36,37}	(2)	39-66 ³⁷	10-27 ³⁷	8-70 ³⁷	2-8 ³⁷	87-96 ³⁷	38,39	12
Kaffeebohnhenschale ^{36,40}	(1)	62.4 ⁴⁰	18.6 ⁴⁰	6.65 5-8 ⁴⁰	2.5 ⁴⁰	93 ⁴¹	8 ^{42,43}	12

Unterschiedliche Nahrungsfasern und deren Wirkung auf die Verdauung

Die WHO und der Codex Alimentarius definieren Nahrungsfasern (NF) als Kohlenhydrate, die im Dünndarm weder verdaut noch resorbiert werden und aus mindestens 10 Monomeren bestehen.⁴⁴⁻⁴⁶ Zahlreiche epidemiologische- und interventionsstudien haben bereits ab einer täglichen Einnahme von 7 g NF ein verringertes Risiko an Darmkrebs, Diabetes, Herz-Kreislaufkrankungen, sowie Schlaganfällen festgestellt.⁴⁴ Nebst der Vorbeugung von Krankheiten, können NF auch bei Reizdarmsymptomen,⁴⁷ chronisch-entzündlichen Darmerkrankungen,⁴⁸ chronischer Obstipation⁴⁹ und Divertikulitis⁵⁰ therapeutisch eingesetzt werden.⁴⁴ Eine absolute tägliche NF Zufuhr von 25-29 g zeigte die grösste Risiko Erniedrigung.⁵¹ Nahrungsfasern bilden eine komplexe Stoffklasse. Eine grobe Unterteilung kann aufgrund des Vorkommens und des Verwendungszweckes in der Pflanze vorgenommen werden: (1) Resistente Stärken aus dem Endosperm, die als Energiespeicher dienen und (2) Nicht-Stärke Polysachharide aus der Pflanzenzellwand, die als mechanische Strukturgeber dienen.⁴⁴ Die physikalisch-chemischen Eigenschaften der NFn, bestehend aus (i) Wasserlöslichkeit, (ii) Viskosität und (iii) Fermentabilität, sind jedoch weitaus relevanter, um ihren physiologischen Einfluss auf den Verdauungstrakt zu verstehen. Ein Übersicht der relevantesten NFn und ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften ist in Tabelle 2 abgebildet:

Table 2: Physikalisch-chemische Eigenschaften gängiger Nahrungsfasern. WL = Wasserlöslichkeit, V = Viskosität, F = Fermentabilität, N = Niedrig, M = Mittel, H = Hoch. Aus Gill et al.⁴⁴

Nahrungsfaser	Quellen	WL	V	F
Nicht Stärke Polysaccharide				
Cellulose	Pflanzenzellwände	Unlöslich	N	N
Lignine	Pflanzenzellwände	Unlöslich	N	N
Arabinoxylane	Weizen, Flohsamen	N-M	M	H
beta-Glukane	Hafer, Gerste	N-M	M-H	H
Galactomannane	Guar	M-H	M-H	H
Pektine	Gemüse, Früchte	H	M-H	H
Inulin	Getreide, Früchte, Gemüse	M-H	N-H	H
Galacto-Oligosaccharide	Hülsenfrüchte	H	L	H
Dextrine	Getreide	H	N	H
Alginate	Meeresalgen	H	H	L
Methylcellulose	Synthetisch	H	H	-
Resistente Stärken (1-5)⁵²				
RS-1 (diffusionslimitiert)	Ganze Körner, Rohkost	Unlöslich	N	H
RS-2 (ungeliert)	Zerealien, Rohkost	N	N	H
RS-3 (retrogradiert)	Retrogradierte Stärkequelle	N	N	H
RS-4 (substituiert)	Synthetisch	N-M	N-M	H
RS-5 (komplexiert)	Mit Fettsäuren	N	N	H

Die folgenden Empfehlungen werden für Menschen mit Reizdarm Beschwerden, chronischer Obstipation und erhöhtem Risiko von Herz-Kreislauf-Erkrankungen (HKE) gegeben:

Table 3: Empfehlung für die spezifische Nahrungsfaserzusammensetzung für Menschen mit Reizdarm Beschwerden, chronischer Obstipation und erhöhtem Risiko von Herz-Kreislauf-Erkrankungen (HKE). i.s. = insoluble GM = Galactomannane, BG = Betaglukane, AX = Arabinoxylane, PE = Pektine, IN = Inulin, GOS = Galactooligosaccharide, RS = Resistant Starch, CL = Cellulose, HCL = Hemicellulose

Behandlungsgrund	Nahrungsfaserempfehlung	Beispiele
Reizdarm	H WL, N-M V, H F ^{44,53,54}	GM, BG, AX, PE, IN, GOS
Chronische Obstipation	i.s.-M WS, L-M V, L-H F ^{44,53-56}	AX, RS, IN, CL, HCL
HEK	H WL ⁵⁷	BG

Kombinationen von Nebenströmen für spezifische NF Bedürfnisse

Tabelle4 zeigt die NF Zusammensetzung von Malztreber, Sonnenblumenöltrester und Apfeltrester. Auffallend ist, dass Malztreber Nahrungsfasern enthält, die sich positiv auf RD, CHO, sowie HEK auswirken. Sonnenblumenöltrester und Apfeltrester wirken sich beide sowohl auf RD, wie auch CHO positiv aus. Aus Tabelle4 wird ersichtlich, dass durch die Kombination von Nebenströmen keine gezielte Nahrungsfaserzusammensetzung gegen eine bestimmte Verdauungsbeschwerde oder Krankheit abgeleitet werden kann. Vor allem sind in den meisten Nebenströmen keine wasserlösliche NFs mehr enthalten. Somit müssten aufgereinigte NFs beigefügt werden, um eine NF Zusammensetzung gegen einen spezifischen Behandlungsgrund zu erreichen. Dies liegt nicht im Rahmen dieser Studie. Somit werden Malztreber und Sonnenblumenöltrester kombiniert, um die technologischen, sowie ernährungsphysiologischen Rahmenbedingungen einzuhalten.

Table 4: Typische NF Bestandteile von ausgewählten Nebenströmen GM = Galactomannane, BG = Betaglucane, AX = Arabinoxylane, PE = Pectine, IN = Inulin, GOS = Galactooligosaccharide, RS = Resistant Starch, CL = Cellulose, HCL = Hemicellulose, RD = Reizdarm, CHO = Chronische Obstipation, HEK = Herz-Kreislauf

Seitenstrom	Enthaltene Nahrungsfasern	Behandlungsgrund
Malztreber	CL, BG, RS, AX ⁵⁸	RD, CHO, HEK
Sonnenblumenöltrester	GOS, PE, CL, Lignin ⁵⁹	RD, CHO
Apfeltrester	PE, CL,	RD, CHO

Rohmaterialanforderungen der HTHDDSNE

Zhang et al.⁶⁰ setzt den minimalen erforderlichen Proteingehalt für ein Rohmaterial, das für die HTHDDSNE geeignet ist auf 60 gew.%. Das Rohmaterial wird in Pulverform eingezogen und mit 40-80 gew.% Wasser im Extruder gemischt. Mazaheri Tehrani et al.⁶¹ stellte Extrudate aus Sojabohnenkonzentrat mit nur 53 gew.% Proteinen her was darauf hindeutet, dass je nach Proteingüte weniger Proteingehalt ausreicht. Berechnen wir den Endproteingehalt eines Extrudates mit 40 gew. % Wassergehalt, erhalten wir zwischen 30-36 g Proteine /

100g Extrudat. Gleichen wir diesen Proteingehalt mit den Seitenstromwerten aus Tabelle 1 ab, sind es nur die Ölsaatenpresskuchen, die einen genügend hohen Proteingehalt aufweisen, bedingt durch den geringen Wassergehalt. Malztreber würde auch einen genügend hohen Proteingehalt aufweisen, sofern er vollständig getrocknet werden würde.

HTHDDSNE von nahrungsfaserreichen Nebenströmen

Aufbereitung und Extrusion von Malztreber

Die HTHDDSNE von Biermalztreber (BMT) wurde erfolgreich durchgeführt. Unbehandelter BMT mit einem Feuchtegehalt von ca. 75% zeigte starke Dampfentwicklung während der Extrusion und geringes Potential für eine Produktapplikation. Mittels Korbpresse bei 150 bar entwässertes Treber mit einem Feuchtegehalt von 66% zeigte wenig Dampfentwicklung und ein homogenes Extrudat. Die groben Spelzen im Extrudat wurden sensorisch als negativ bewertet. Deshalb wurde der BMT in einer Kolloidmühle nassvermahlen und mittels Korbpresse bei 150 bar ca. 76% Feuchtegehalt entwässert und anschliessend extrudiert. Es fand eine Texturisierung des Materials statt. Mittels einer Zentrifuge wurde der Feuchtegehalt des Nassvermahlenden BMT weiter auf 56% gesenkt (siehe Fig.4(A-B)). Somit wurde ein formfestes BMT Extrudat erzeugt wie in Fig.4(C-D) ersichtlich.

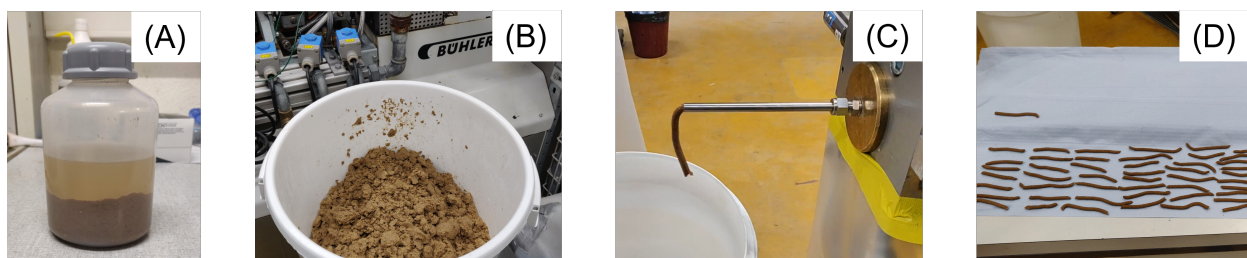


Figure 1: (A): Zentrifugenbecher mit entwässertem und vermahlenden BMT (Becherboden) und der überständigen Würze. (B): Vermahlener und entwässertes BMT mit 56% Feuchtegehalt vor der HTHDDSNE. (C): Extrudat am Austritt der Düse. (D): Extrudatstränge für die klinische Studie

Extrusion von gemischten nahrungsfaserreichen Nebenströmen

Um die formfestigkeit des BMT Extrudates zu erhöhen, wurde eine Mischung aus Sonnenblumenöltrester (SBT) und BMT extrudiert. BMT und SBT wurden in den Anteilen BMT:SBT von 20:80, 40:60, und 50:50 angemischt, wie in Abb.2 dargestellt. Die Verhältnisse BMT:SBT von 40:60 und 50:50 wurden von den Schnecken nicht genügend eingezogen. Dies verursachte eine Düsenverstopfung. Folglich führte nur das BMT:SBT Verhältnis von 20:80 zu einem hinreichenden Schneckeneinzug. Die Extrudate wurden mittels Texturanalyse auf ihre formfestigkeit untersucht. Es wurde ein Doppelkompressionstest und ein Extensionstest durchgeführt, wie in Abb.3 dargestellt. Die Zugabe von SBT erhöhte die Formfestigkeit sowohl in der Kompression, wie auch in der Extension. Für die Extrudate, die ausschliesslich aus BMT hergestellt wurden, konnte kein Extensionstest durchgeführt werden, da das Extrudat zu forminstabil war. Das BMT:SBT 20:80 Extrudat zeigt bessere mechanische, sowie sensorische Eigenschaften, aber zeichnete sich durch einen geringen NF Anteil aus. Deshalb wurde für die Ernährungsstudie das BMT:SBT 100:0 Extrudat verwendet.

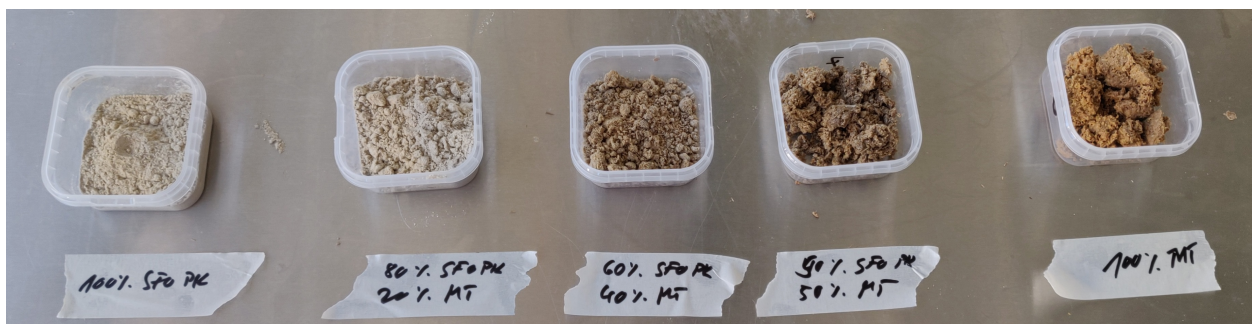


Figure 2: Von Links nach Rechts in BMT:SBT Anteilen: 0:100, 20:80, 40:60, 50:50, 100:0.

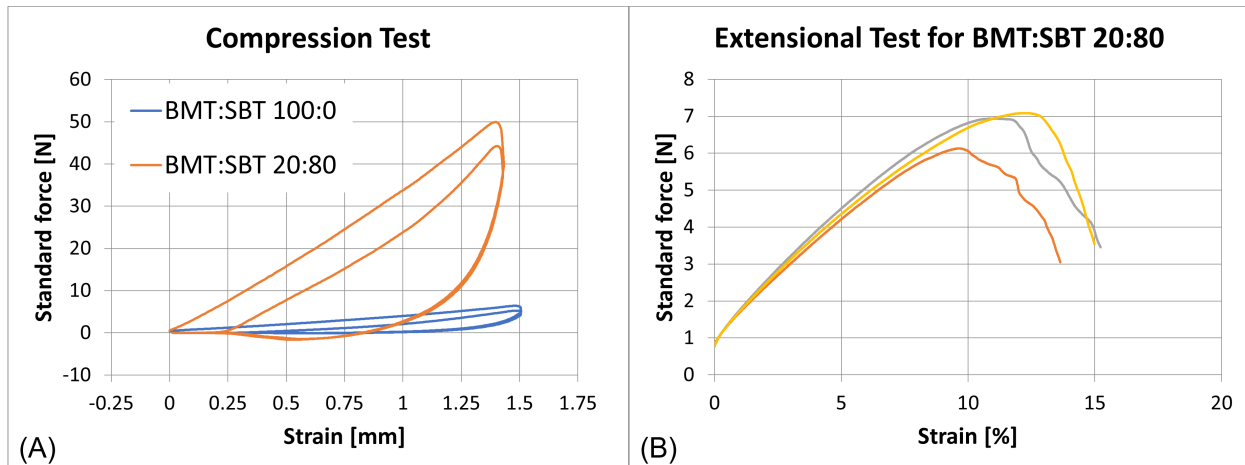


Figure 3: (A) Doppelkompressions- und (B) Extensionstest von Extrudaten aus BMT und SBT. (B) zeigt die Dreifachbestimmung des BMT:SBT 20:80 Extrudates.

Studie über den Einfluss von Malztreberextrudateinnahmen auf die Verdauungsaktivität von Menschen

Table 5: Nahrungsfaserzusammensetzung des Biermalztreberextrudates

Nahrungsfaserart	Anteil an Trockenmasse [wt%]	Effekt
Cellulose	18.2 ± 2.2	Chronische Obstipation
Hemicellulose	31.0 ± 1.9	Reizdarm, Chronische Obstipation
Lignin	7.8 ± 1.0	
Resistente Stärke	0.91 ± 0.01 ⁶²	Chronische Obstipation
β -glucane	$0.1-1$ ^{63,64}	HEK, Reizdarm

Klinische Studien, die Teilnehmer mit Nahrungsfasern supplementiert haben verwendeten zwischen 5 und 15 g Nahrungsfasern (NF) pro Tag.⁶⁵ Für die durchgeführte Studie wurde deshalb eine tägliche Supplementierung an NF von 15 g/Tag angepeilt. Der Feuchtegehalt des BMT Extrudates lag bei $54 \pm 2\%$. Somit ergibt sich ein Nahrungsfasergehalt von ca. 0.6 g/g BMT Extrudat aus Tabelle 5. Für die angestrebten 15 g NF pro Tag wurden somit 30 g BMT Extrudat supplementiert. Die Teilnehmer wurden aufgefordert täglich 3 Portionen (je 8-10g) Malztreberextrudat (Behandlung) oder Zwieback (Placebo) vor den 3 Hauptmahlzeiten zu

sich zu führen. 6 freiwillige, männliche Teilnehmer im Alter von 30 und 31 Jahren wurden für die Studie aufgeboten. Die Teilnehmer protokollierten ihre Nahrungsaufnahme aus der die tägliche Protein-, Kohlenhydrat-, Fett-, und Nahrungsfaserzufuhr berechnet wurde. Zudem wurden die Stuhlgänge betreffend Dauer, subjektiver Grösse, Entleerungsgefühls, sowie Konsistenz protokolliert. Die Stuhlkonsistenz wurde anhand der "Bristol" scale gewertet.⁶⁶ Dies wurde während 4 Wochen durchgeführt, um einen räumlich-representativen Zeitraum pro Teilnehmer ohne Supplementierung zu messen (siehe Fig.1). Danach wurde eine Intervention durchgeführt: Jeweils 3 Teilnehmer wurden aufgefordert täglich 3 Portionen (je 8-10g) Malztreberextrudat (Behandlung) oder Zwieback (Placebo) vor den 3 Hauptmahlzeiten zu sich zu führen. Der supplementierte Zwieback enthält 74 g Kohlenhydrate, 8g Fett und 3 g NF pro 100g. Somit wurde mit dem Placebo weniger als 1 g NF pro Tag supplementiert. Die Intervention dauerte 7 Tage. Nach der Intervention wurden die Nahrungsaufnahme und der Stuhlgang während weiteren 7 Tage protokolliert.

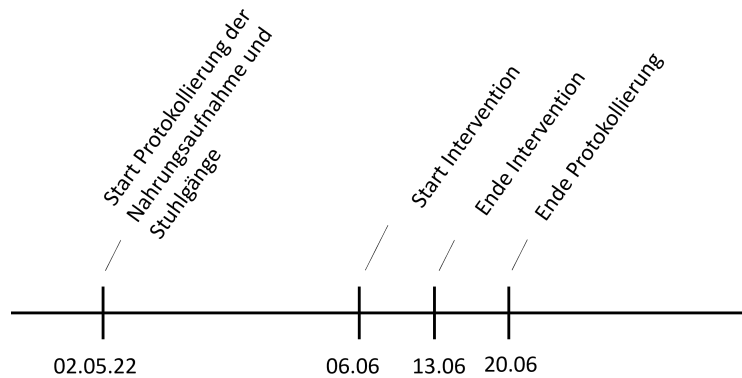


Figure 4: Zeitlicher Ablauf der Interventionsstudie mit Biermalztreberextrudat als Nahrungsfasersupplement

Die Auswertung der durchschnittlichen täglichen Nahrungsfaseraufnahme zeigte deutliche Unterschiede zwischen den Probanden wie in Abb.5 dargestellt. Zwei Probanden in der Supplementierungsgruppe verzeichneten eine deutliche Zunahme an NF während der Supplementierung, während ein Proband keine Zunahme verzeichnete. In der Placebogruppe blieb die NF Aufnahme konstant.

Fibres intake (g) before and during the Experiment

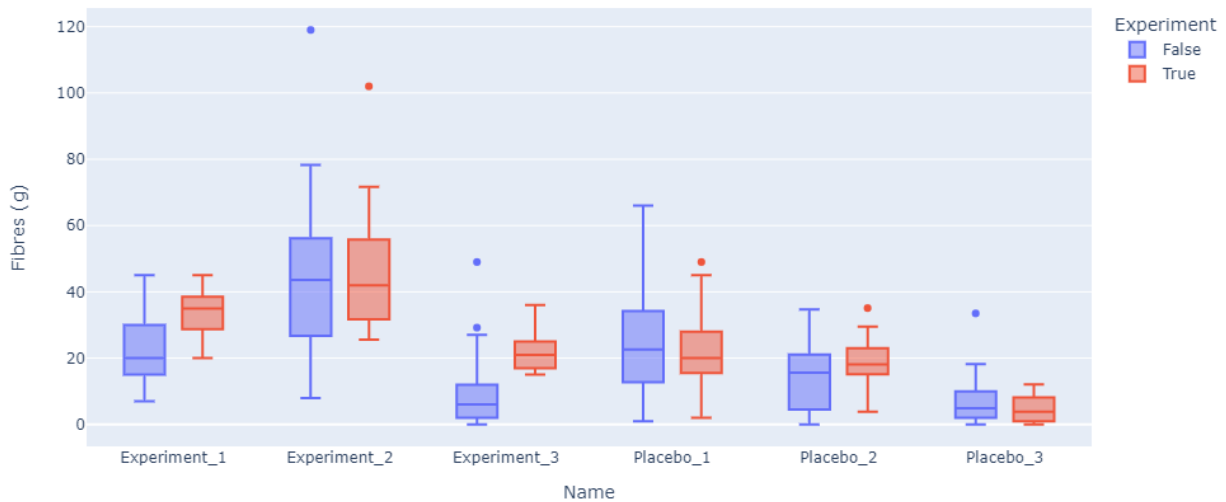


Figure 5: Durchschnittliche tägliche Nahrungsfaseraufnahme in g vor und nach der Intervention (Experiment = false), sowie während der Intervention (experiment = true). Die Probanden wurden in Teilnehmer mit Supplementierung (Experiment) und ohne Supplementierung (Placebo) gegliedert. Die zusätzlichen 15 g NF in der Supplementierungsgruppe sind miteinbezogen in der Darstellung.

Die Auswertung der Stuhlgangsfrequenz vor und nach, sowie während der Intervention ist in Abb.6 dargestellt. Die Stuhlgangsfrequenz in der Supplementierungsgruppe erhöhte sich leicht während sich jene in der Placebogruppe verringerte.

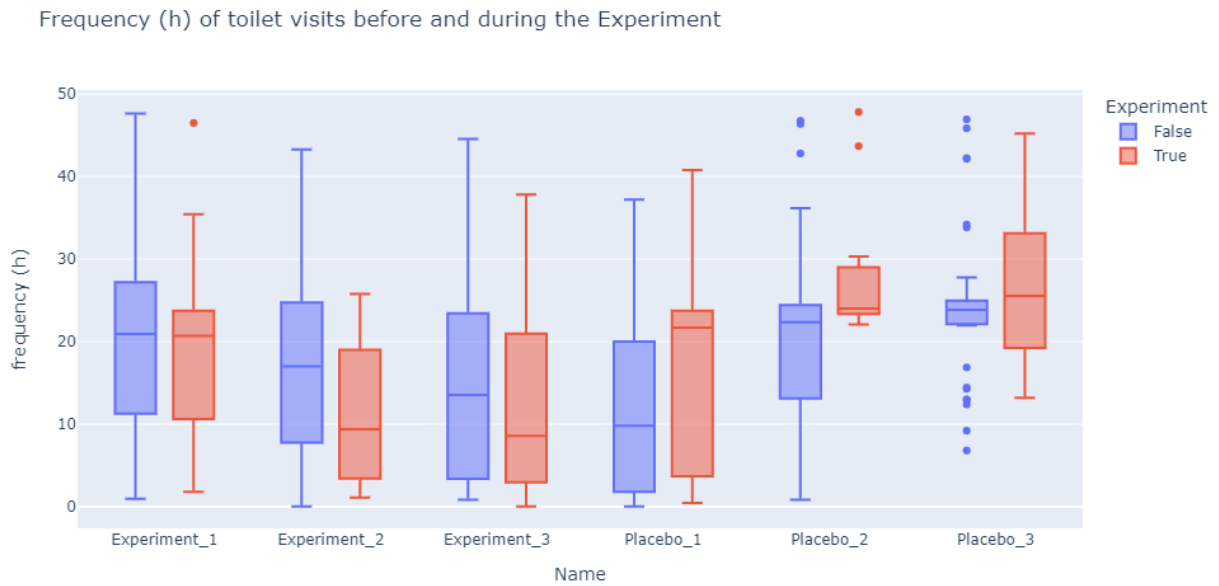


Figure 6: Durchschnittliche Zeit zwischen zwei Stuhlgängen (Frequenz) in h vor und nach der Intervention (Experiment = false), sowie während der Intervention (experiment = true). Die Probanden wurden in Teilnehmer mit Supplementierung (Experiment) und ohne Supplementierung (Placebo) gegliedert.

Die Auswertung der Stuhlgangsdauer vor und nach, sowie während der Intervention ist in Abb.6 dargestellt. Die Stuhlgangsdauer in der Supplementierungsgruppe verringerte sich, während jene in der Placebogruppe konstant blieb.

Duration before and during the Experiment

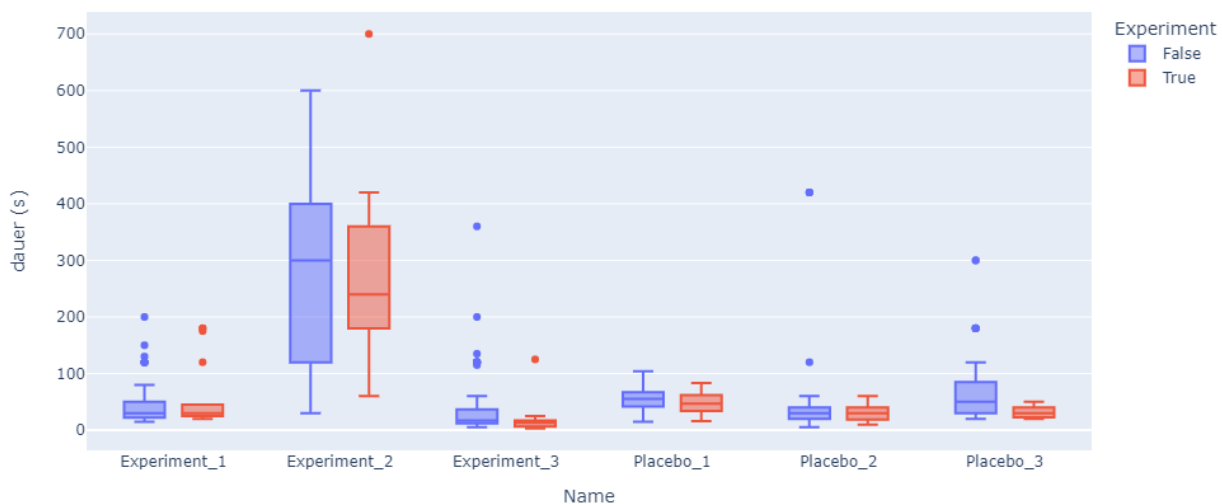


Figure 7: Durchschnittliche Stuhlgangsdauer in s vor und nach der Intervention (Experiment = false), sowie während der Intervention (experiment = true). Die Probanden wurden in Teilnehmer mit Supplementierung (Experiment) und ohne Supplementierung (Placebo) gegliedert.

Die Auswertung der Stuhlgangskonsistenz nach Bristol vor und nach, sowie während der Intervention ist in Abb.6 dargestellt. Die Supplementierungs-, sowie die Placebogruppe zeigten keine deutliche Veränderung der Stuhlkonsistenz während der Intervention.

Bristol Scale before and during the Experiment

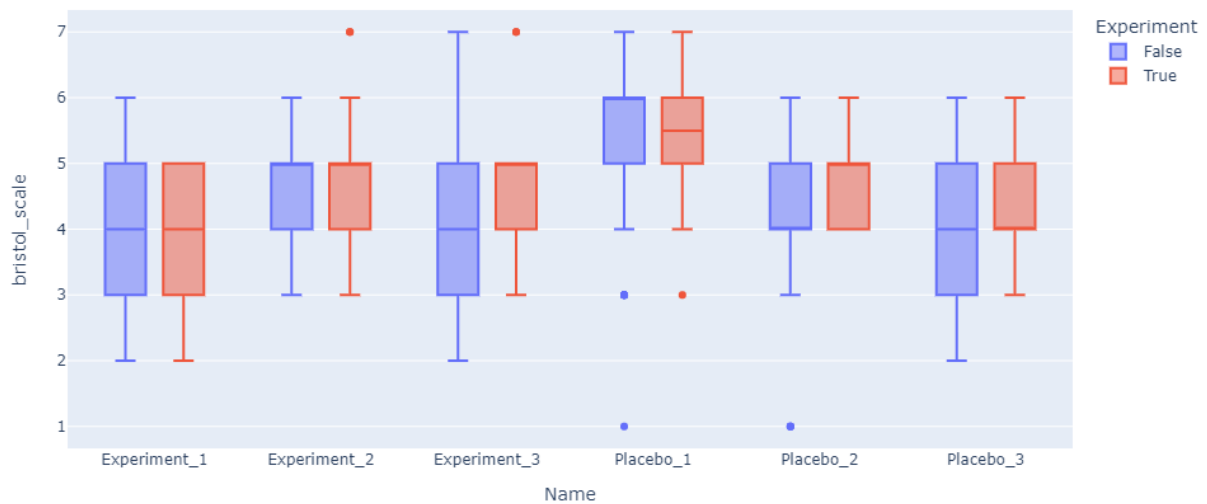


Figure 8: Durchschnittliche subjektive Stuhlkonsistenz nach Bristolscale vor und nach der Intervention (Experiment = false), sowie während der Intervention (experiment = true). Die Probanden wurden in Teilnehmer mit Supplementierung (Experiment) und ohne Supplementierung (Placebo) gegliedert.

Die Auswertung der Stuhlgangsgröße vor und nach, sowie während der Intervention ist in Abb.9 dargestellt. Die Supplementierungs-, sowie die Placebogruppe zeigten keine deutliche Veränderung der Stuhlgröße während der Intervention.

Size of the Feces before and during the Experiment (1=small, 4=big)

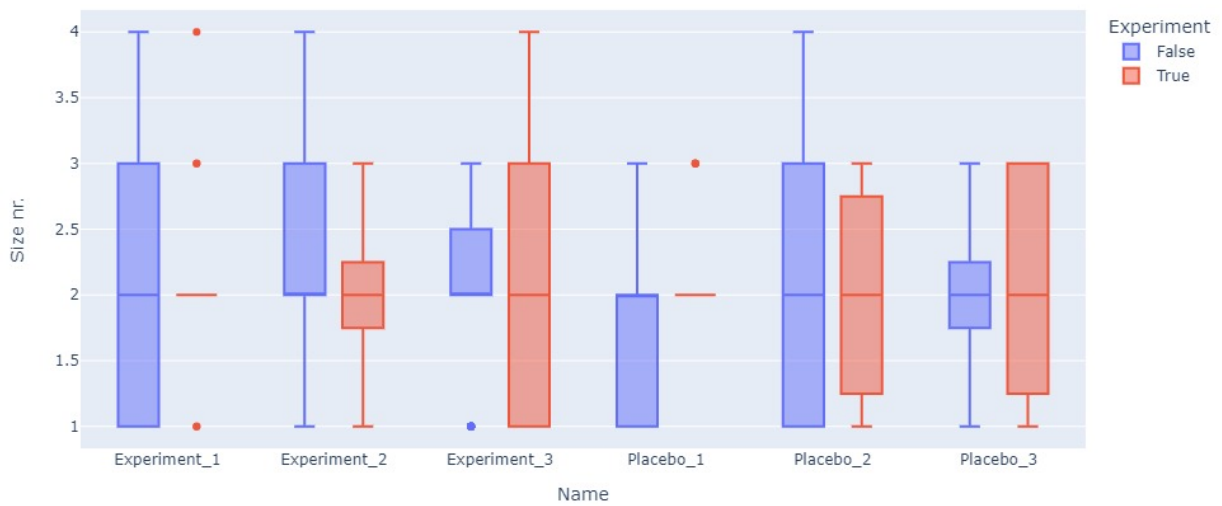


Figure 9: Durchschnittliche subjektive Stuhlgröße vor und nach der Intervention (Experiment = false), sowie während der Intervention (experiment = true). Die Probanden wurden in Teilnehmer mit Supplementierung (Experiment) und ohne Supplementierung (Placebo) gegliedert.

Die Auswertung des Entleerungsgefühls vor und nach, sowie während der Intervention ist in Abb.10 dargestellt. Die Supplementierungs-, sowie die Placebogruppe zeigten keine deutliche Veränderung des Entleerungsgefühls während der Intervention.

Emptiness after toilet visit before and during the Experiment (1=full, 4=empty)

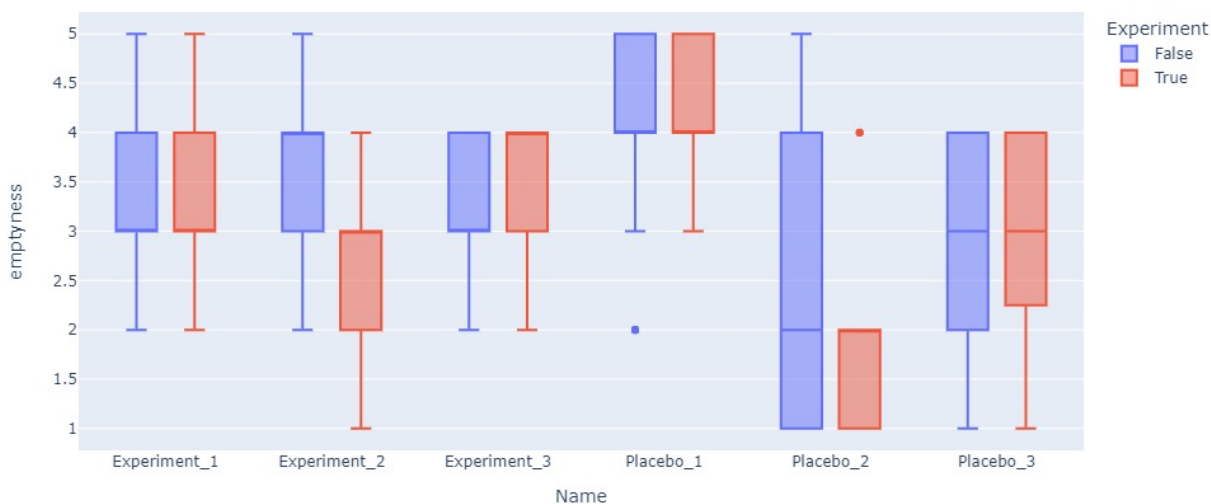


Figure 10: Durchschnittliches Entleerungsgefühl vor und nach der Intervention (Experiment = false), sowie während der Intervention (experiment = true). Die Probanden wurden in Teilnehmer mit Supplementierung (Experiment) und ohne Supplementierung (Placebo) gegliedert.

Schlussfolgerungen und Ausblicke

Das Projekt Regulierte Verdauung mit proteinreichen Nahrungsfasermischungen aus Nebenströmen der Getreide-, Ölsaaten, Obst und Gemüseverarbeitung in der Schweiz (ReVeN-CH) hat gezeigt, dass es eine Vielzahl von protein- und nahrungsfaserreichen Nebenströmen gibt, die regelmässig und in grossen Mengen in der Schweiz anfallen. Der hohe ernährungsphysiologische Wert dieser Nebenströme kann nur ausgeschöpft werden, indem sie durch Lebensmittelverfahrenstechnik aufgewertet werden. Die Resultate dieses Projektes haben gezeigt, dass durch den hohen Proteingehalt von Ölsatentrester, formfeste und elastische Extrudate hergestellt werden können. Somit können Nebenströme mit besonderen wertvollen NFs, die jedoch nicht genügend Proteingehalt haben für ein formfestes, elastisches Extrudat, mit Ölsatentrester vermischt werden, um das erwünschte Resultat zu erreichen. Da sich Malztreiber aus ernährungsphysiologischer Sicht als besonders wertvoll herausgestellt hat, wurde eine

Verdauungsstudie mit einer täglichen Zufuhr von Malztreber Extrudat durchgeführt. Es konnte eine erhöhte Stuhlgangsfrequenz und eine verkürzte Stuhlgangsdauer festgestellt werden. Die gewonnenen Erkenntnisse dieses Projektes ermöglichen es Folgeprojekte abzuleiten für weiterführende Studien:

1. Das Malztreber Extrudat wurde sensorisch negativ bewertet. Das kombinierte Extrudat mit Malztreber und Sonnenblumenöltrester wurde sensorisch bevorzugt, aber zeichnete sich durch einen stark verringerten Nahrungsfasergehalt aus. Somit müsste für eine weiterführende Studie ein Extrudat entwickelt werden, das sowohl sensorisch als auch ernährungsphysiologisch den Probanden entspricht.
2. Die tägliche Protokollierung der aufgenommenen Menge an NFs mittels open source Programmen bietet eine grosse Fehlerquelle an. Für zukünftige Studien sollten die Mahlzeiten durch einen Mahlzeitendienst standardisiert werden, sodass die Probanden dieselbe Kost zu sich nehmen.
3. Die subjektive Beurteilung von Stuhlgangsmenge und Konsistenz ist eine weitere systematische Fehlerquelle. In einer weiterführenden Studie müsste mit "WC Einlagen" gearbeitet werden. Somit würden die Stuhlgänge gesammelt und in einem Labor ausgewertet werden. Somit könnte auch der Einfluss der Nahrungsfaseraufnahme auf das Mikrobiom untersucht werden.
4. Eine weiterführende Studie müsste unter ärztlicher Beaufsichtigung erfolgen, sodass weitere Parameter wie Serumcholesterol, Blutdruck, etc. aufgenommen werden können.

Damit die weiterführenden Studien durchgeführt werden können, sollten folgende Institute miteinbezogen werden:

1. Laboratory of Human Nutrition: Erstellung von Diätplan und Protokollierung Nahrungsaufnahme
2. UZH - Gastroenterologie: Klinische Betreuung der Studie

3. PharmaBiome: Untersuchung des Mikrobioms während der Studie
4. Laboratory of Food Process Engineering: Rheologische Charakterisierung des Stuhlgangs
5. Laboratory of Food Process Engineering: Rheologische Charakterisierung des Stuhlgangs
6. Brauerei Brewdaz: Herstellung der Extrudate

Appendix

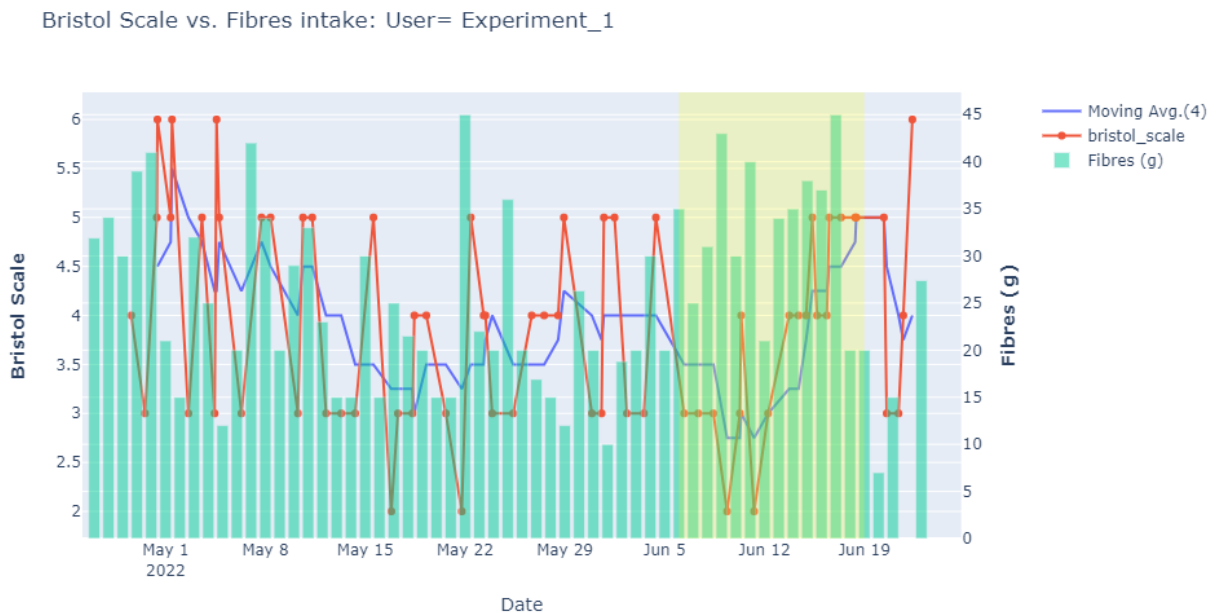


Figure 11: Die tägliche Nahrungsfaseraufnahme, sowie der gleitende Durchschnitt und die Stuhlkonsistenz nach Bristol von Proband 1 mit Supplementierung.

Bristol Scale vs. Fibres intake: User= Experiment_2

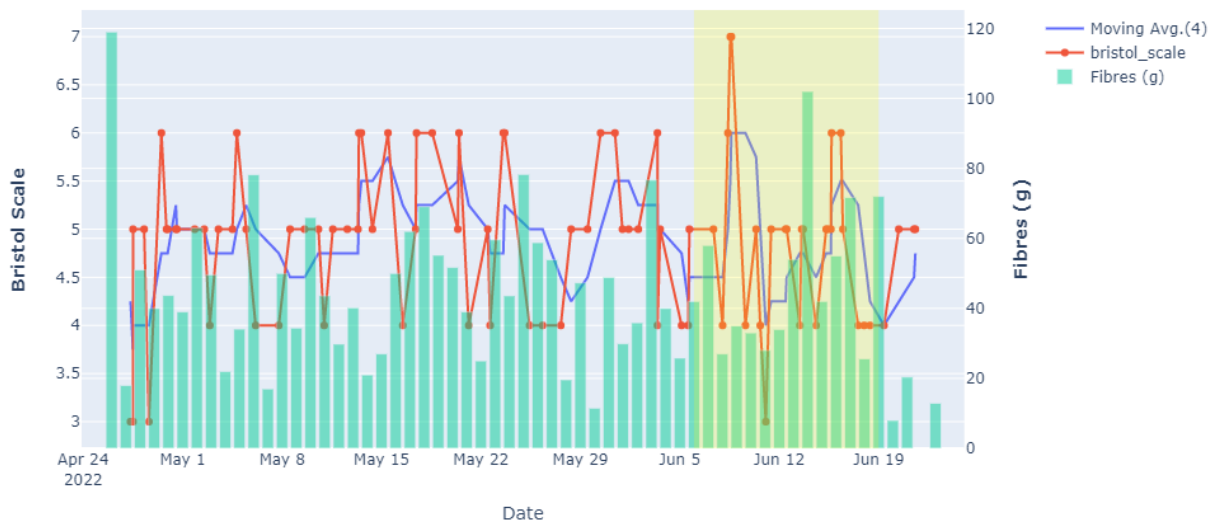


Figure 12: Die tägliche Nahrungsfaseraufnahme, sowie der gleitende Durchschnitt und die Stuhlkonsistenz nach Bristol von Proband 3 mit Supplementierung.

Bristol Scale vs. Fibres intake: User= Experiment_3

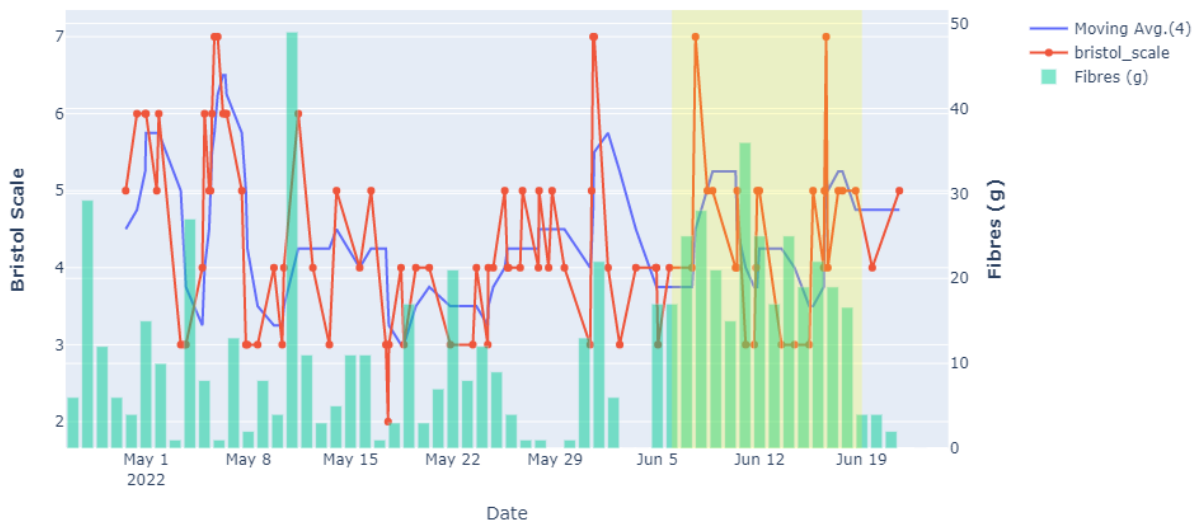


Figure 13: Die tägliche Nahrungsfaseraufnahme, sowie der gleitende Durchschnitt und die Stuhlkonsistenz nach Bristol von Proband 3 mit Supplementierung.

Bristol Scale vs. Fibres intake: User= Placebo_1

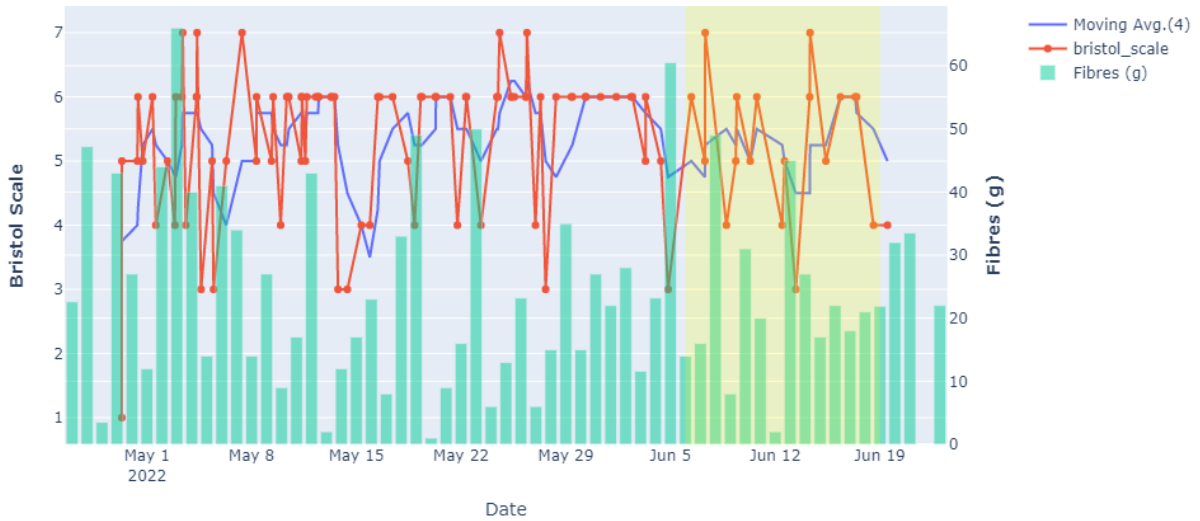


Figure 14: Die tägliche Nahrungsfaseraufnahme, sowie der gleitende Durchschnitt und die Stuhlkonsistenz nach Bristol von Proband 1 ohne Supplementierung.

Bristol Scale vs. Fibres intake: User= Placebo_2

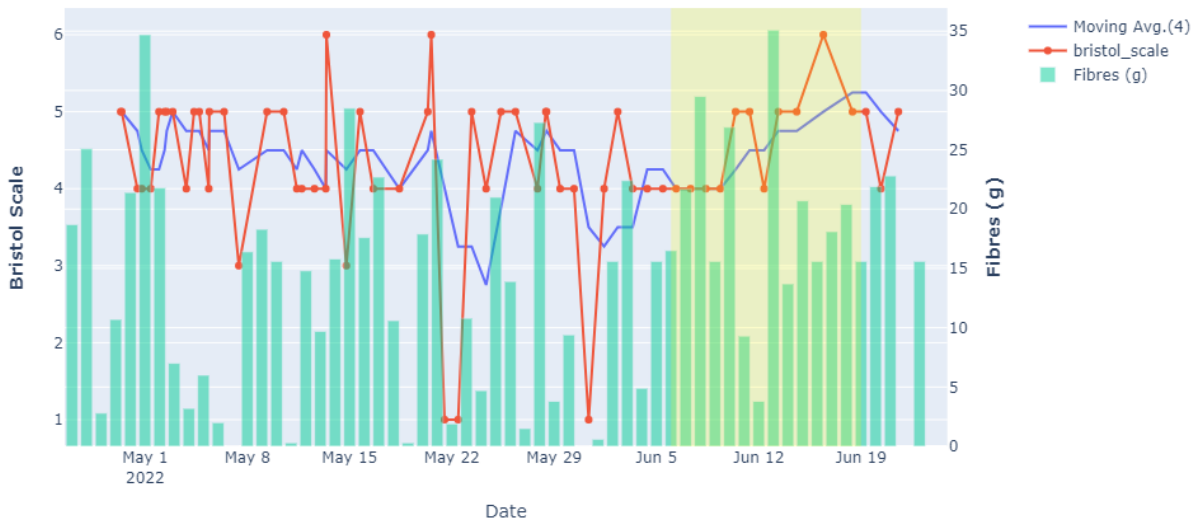


Figure 15: Die tägliche Nahrungsfaseraufnahme, sowie der gleitende Durchschnitt und die Stuhlkonsistenz nach Bristol von Proband 2 ohne Supplementierung.

Bristol Scale vs. Fibres intake: User= Placebo_3

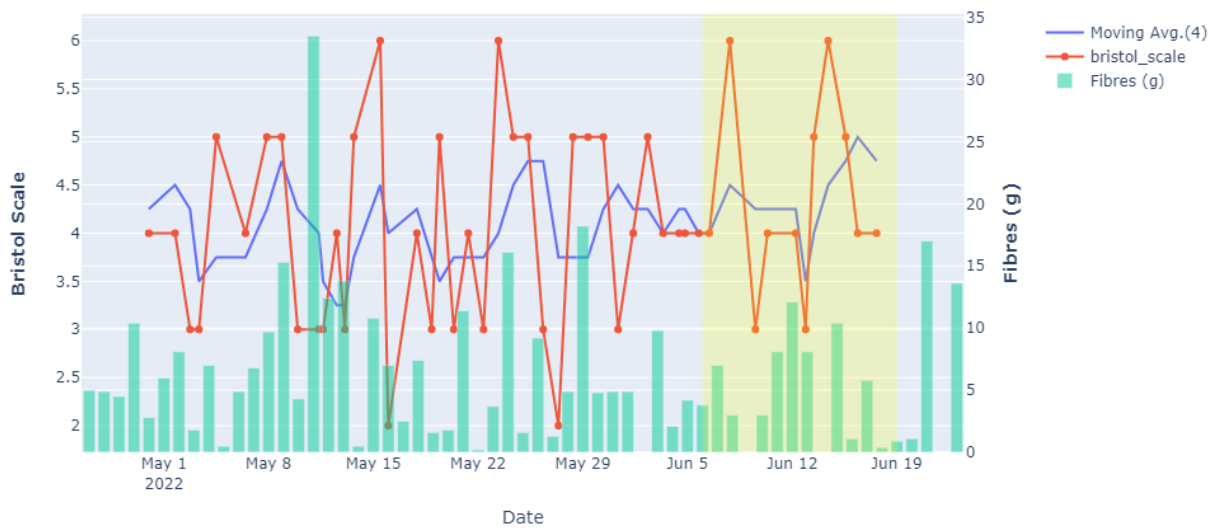


Figure 16: Die tägliche Nahrungsfaseraufnahme, sowie der gleitende Durchschnitt und die Stuhlkonsistenz nach Bristol von Proband 3 ohne Supplementierung.

References

- (1) Beretta, C.; Stoessel, F.; Baier, U.; Hellweg, S. Quantifying food losses and the potential for reduction in Switzerland. Waste management **2013**, 33, 764–773.
- (2) Mosberger, L.; Gröbly, D.; Buchli, J.; Müller, C.; Baier, U. Organische Verluste aus der Lebensmittelindustrie in der Schweiz-Massenflussanalyse nach Branchen, Ursachen/Verwertung. Wissenschaftlicher Schlussbericht ZHAW **2016**,
- (3) Wasem, D.; Probst, S. Warenflüsse der Nebenprodukte aus der Lebensmittelverarbeitung - Bedeutung der Tierernährung für deren Verwertung. Berner Fachhochschule HAFL **2020**,
- (4) Chen, C.; Chaudhary, A.; Mathys, A. Dietary change scenarios and implications for environmental, nutrition, human health and economic dimensions of food sustainability. Nutrients **2019**, 11, 856.
- (5) Chen, C.; Chaudhary, A.; Mathys, A. Nutritional and environmental losses embedded in global food waste. Resources, Conservation and Recycling **2020**, 160, 104912.
- (6) Aliyu, S.; Bala, M. Brewer’s spent grain: A review of its potentials and applications. African Journal of Biotechnology **2011**, 10, 324–331.
- (7) Boessinger, M.; Hug, H.; Wyss, U. Malztreber, ein wertvolles Ergänzungsfutter für Nutztiere. UFARevue **2005**, 4, 51–58.
- (8) Kanauchi, O.; Mitsuyama, K.; Araki, Y. Development of a functional germinated barley foodstuff from brewer’s spent grain for the treatment of ulcerative colitis. Journal of the American Society of Brewing Chemists **2001**, 59, 59–62.
- (9) Robertson, J. A.; I’Anson, K. J.; Treimo, J.; Faulds, C. B.; Brocklehurst, T. F.; Eijsink, V. G.; Waldron, K. W. Profiling brewers’ spent grain for composition and mi-

- crobial ecology at the site of production. LWT-Food Science and Technology **2010**, 43, 890–896.
- (10) Naibaho, J.; Korzeniowska, M. The variability of physico-chemical properties of brewery spent grain from 8 different breweries. Heliyon **2021**, 7, e06583.
- (11) Schieber, A. Side streams of plant food processing as a source of valuable compounds: Selected examples. Annual review of food science and technology **2017**, 8, 97–112.
- (12) Shalini, R.; Gupta, D. Utilization of pomace from apple processing industries: a review. Journal of food science and technology **2010**, 47, 365–371.
- (13) Bhushan, S.; Kalia, K.; Sharma, M.; Singh, B.; Ahuja, P. S. Processing of apple pomace for bioactive molecules. Critical reviews in biotechnology **2008**, 28, 285–296.
- (14) Sudha, M.; Baskaran, V.; Leelavathi, K. Apple pomace as a source of dietary fiber and polyphenols and its effect on the rheological characteristics and cake making. Food chemistry **2007**, 104, 686–692.
- (15) Masoodi, F.; Chauhan, G. Use of apple pomace as a source of dietary fiber in wheat bread. Journal of Food Processing and Preservation **1998**, 22, 255–263.
- (16) Obstverband, S. Mostobsternte und -verarbeitung - Schlussbericht 2021. 2021; https://www.swissfruit.ch/wp-content/uploads/2021/11/sov_Schlussbericht-Mostobst-2021.pdf.
- (17) Bender, A. B. B.; Speroni, C. S.; Moro, K. I. B.; Morisso, F. D. P.; dos Santos, D. R.; da Silva, L. P.; Penna, N. G. Effects of micronization on dietary fiber composition, physicochemical properties, phenolic compounds, and antioxidant capacity of grape pomace and its dietary fiber concentrate. LWT **2020**, 117, 108652.
- (18) AntoniĆ, B.; Janĉikova, S.; DordeviĆ, D.; Tremlova, B. Grape pomace valorization: A systematic review and meta-analysis. Foods **2020**, 9, 1627.

- (19) Miranda, M.; Arranz, J.; Román, S.; Rojas, S.; Montero, I.; López, M.; Cruz, J. Characterization of grape pomace and pyrenean oak pellets. Fuel processing technology **2011**, 92, 278–283.
- (20) Boehlen, D. Das Weinjahr 2020 - Weinwirtschaftliche Statistik. 2020; <https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/nachhaltige-produktion/pflanzliche-produktion/weine-und-spirituosen/weinwirtschaftliche-statistik.html>.
- (21) García-Lomillo, J.; González-SanJosé, M. L. Applications of wine pomace in the food industry: Approaches and functions. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety **2017**, 16, 3–22.
- (22) Vaitkevičienė, N. A comparative study on proximate and mineral composition of coloured potato peel and flesh. Journal of the Science of Food and Agriculture **2019**, 99, 6227–6233.
- (23) Camire, M. E.; Violette, D.; Dougherty, M. P.; McLaughlin, M. A. Potato peel dietary fiber composition: effects of peeling and extrusion cooking processes. Journal of Agricultural and Food Chemistry **1997**, 45, 1404–1408.
- (24) Willersinn, C.; Mack, G.; Mouron, P.; Siegrist, M. Potato losses in Switzerland from field to fork. Agrarforschung Schweiz **2016**, 7, 104–111.
- (25) Arnaud, d. L. Schweizer Agrarbericht 2021. 2021; <https://www.agrarbericht.ch/de/markt/pflanzliche-produkte/kartoffeln>.
- (26) Wafar, R.; Hannison, M.; Abdullahi, U.; Makinta, A. Effect of Pumpkin (Cucurbita pepo L.) seed meal on the performance and carcass characteristics of broiler chickens. Asian Journal of Advances in Agricultural Research **2017**, 2, 1–7.
- (27) Zdunczyk, Z.; Minakowski, D.; Frejnagel, S.; Flis, M. Comparative study of the chemical

- composition and nutritional value of pumpkin seed cake, soybean meal and casein. Food/Nahrung **1999**, 43, 392–395.
- (28) Jukić, M.; Lukinac, J.; Čuljak, J.; Pavlović, M.; Šubarić, D.; Koceva Komlenić, D. Quality evaluation of biscuits produced from composite blends of pumpkin seed oil press cake and wheat flour. International journal of food science & technology **2019**, 54, 602–609.
- (29) Studer, M. Side stream assessment of pumpkin seed proteins. Ph.D. thesis, Swiss Federal Institute of Technology (ETHZ), Zürich, ZH, 2017.
- (30) Yegorov, B.; Turpurova, ; Sharabaeva, E.; Bondar, Y. Prospects of using by-products of sunflower oil production in compound feed industry. **2019**,
- (31) Scharlack, N. K.; Aracava, K. K.; Rodrigues, C. E. Effect of the type and level of hydration of alcoholic solvents on the simultaneous extraction of oil and chlorogenic acids from sunflower seed press cake. Journal of the Science of Food and Agriculture **2017**, 97, 4612–4620.
- (32) Arnaud, d. L. Schweizer Agrarbericht 2021. 2021; <https://www.agrarbericht.ch/de/markt/pflanzliche-produkte/oelsaaten>.
- (33) Leming, R.; Lember, A. Chemical composition of expeller-extracted and cold-pressed rapeseed cake. Agraarteadus **2005**, 16, 96–109.
- (34) Bauwelinck, J.; Caluwé, M.; Wijnants, M.; Wittner, N.; Broos, W.; Dries, J.; Akkermans, V.; Tavernier, S.; Cornet, I. Chocolate industry side streams as a valuable feedstock for microbial long-chain dicarboxylic acid production. Biochemical Engineering Journal **2021**, 167, 107888.
- (35) Tsakona, S.; Papadaki, A.; Kopsahelis, N.; Kachrimanidou, V.; Papanikolaou, S.; Kouti-

- nas, A. Development of a circular oriented bioprocess for microbial oil production using diversified mixed confectionery side-streams. Foods **2019**, 8, 300.
- (36) Barbosa-Pereira, L.; Guglielmetti, A.; Zeppa, G. Pulsed electric field assisted extraction of bioactive compounds from cocoa bean shell and coffee silverskin. Food and bioprocess technology **2018**, 11, 818–835.
- (37) Rojo-Poveda, O.; Barbosa-Pereira, L.; Zeppa, G.; Stévigny, C. Cocoa bean shell—a by-product with nutritional properties and biofunctional potential. Nutrients **2020**, 12, 1123.
- (38) Schokoladenfabriken, V. S. Facts Figures. 2021; <https://www.chocosuisse.ch/services/facts-figures>.
- (39) Hashimoto, J. C.; Lima, J. C.; Celeghini, R.; Nogueira, A. B.; Efraim, P.; Poppi, R. J.; Pallone, J. A. Quality control of commercial cocoa beans (*Theobroma cacao* L.) by near-infrared spectroscopy. Food analytical methods **2018**, 11, 1510–1517.
- (40) Murthy, P. S.; Naidu, M. M. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review. Resources, Conservation and recycling **2012**, 66, 45–58.
- (41) Borrelli, R. C.; Esposito, F.; Napolitano, A.; Ritieni, A.; Fogliano, V. Characterization of a new potential functional ingredient: coffee silverskin. Journal of Agricultural and Food Chemistry **2004**, 52, 1338–1343.
- (42) Hejna, A. Coffee silverskin as a potential bio-based antioxidant for polymer materials: Brief review. Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings **2020**, 69, 20.
- (43) Procafé, Statistische Angaben über Kaffee. 2021; https://www.procafe.ch/wp-content/uploads/2022/03/StatAngaben_d.pdf.
- (44) Gill, S. K.; Rossi, M.; Bajka, B.; Whelan, K. Dietary fibre in gastrointestinal health and disease. Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology **2021**, 18, 101–116.

- (45) Commission, J. F. C. A., et al. Codex alimentarius-Guidelines on nutrition labelling. Last revised in 2017,
- (46) Zielinski, G.; DeVries, J. W.; Craig, S. A.; Bridges, A. R. Dietary fiber methods in Codex Alimentarius: Current status and ongoing discussions. Cereal Food World **2013**, 58, 148–153.
- (47) McKenzie, Y.; Bowyer, R.; Leach, H.; Gulia, P.; Horobin, J.; O’Sullivan, N.; Pettitt, C.; Reeves, L.; Seamark, L.; Williams, M., et al. British Dietetic Association systematic review and evidence-based practice guidelines for the dietary management of irritable bowel syndrome in adults (2016 update). Journal of Human Nutrition and Dietetics **2016**, 29, 549–575.
- (48) Lamb, C. A.; Kennedy, N. A.; Raine, T.; Hendy, P. A.; Smith, P. J.; Limdi, J. K.; Hayee, B.; Lomer, M. C.; Parkes, G. C.; Selinger, C., et al. British Society of Gastroenterology consensus guidelines on the management of inflammatory bowel disease in adults. Gut **2019**, 68, s1–s106.
- (49) Makharia, G.; Gibson, P. R.; Bai, J. C.; Karakan, T.; Lee, Y. Y.; Collins, L.; Muir, J.; Oruc, N.; Quigley, E.; Sanders, D. S., et al. World Gastroenterology Organisation Global Guidelines: Diet and the Gut. Journal of clinical gastroenterology **2022**, 56, 1–15.
- (50) guideline NG147, N. Diverticular disease: diagnosis and management. Methods **2019**,
- (51) Reynolds, A.; Mann, J.; Cummings, J.; Winter, N.; Mete, E.; Te Morenga, L. Carbohydrate quality and human health: a series of systematic reviews and meta-analyses. The Lancet **2019**, 393, 434–445.
- (52) Sajilata, M. G.; Singhal, R. S.; Kulkarni, P. R. Resistant starch—a review. Comprehensive reviews in food science and food safety **2006**, 5, 1–17.

- (53) Giannini, E. G.; Mansi, C.; Dulbecco, P.; Savarino, V. Role of partially hydrolyzed guar gum in the treatment of irritable bowel syndrome. Nutrition **2006**, 22, 334–342.
- (54) Rao, S. S. C.; Yu, S.; Fedewa, A. Systematic review: dietary fibre and FODMAP-restricted diet in the management of constipation and irritable bowel syndrome. Alimentary pharmacology & therapeutics **2015**, 41, 1256–1270.
- (55) Erdogan, A.; Rao, S.; Thiruvaiyaru, D.; Lee, Y. Y.; Coss Adame, E.; Valestin, J.; O'Banion, M. Randomised clinical trial: mixed soluble/insoluble fibre vs. psyllium for chronic constipation. Alimentary pharmacology & therapeutics **2016**, 44, 35–44.
- (56) Den Hond, E.; Geypens, B.; Ghoois, Y. Effect of high performance chicory inulin on constipation. Nutrition Research **2000**, 20, 731–736.
- (57) Chen, J.; Raymond, K. Beta-glucans in the treatment of diabetes and associated cardiovascular risks. Vascular health and risk management **2008**, 4, 1265.
- (58) Mandalari, G.; Faulds, C. B.; Sancho, A. I.; Saija, A.; Bisignano, G.; LoCurto, R.; Waldron, K. W. Fractionation and characterisation of arabinoxylans from brewers' spent grain and wheat bran. Journal of Cereal Science **2005**, 42, 205–212.
- (59) Lannuzel, C.; Smith, A.; Mary, A.; Della Pia, E.; Kabel, M.; de Vries, S. Improving fiber utilization from rapeseed and sunflower seed meals to substitute soybean meal in pig and chicken diets: A review. Animal Feed Science and Technology **2022**, 115213.
- (60) Zhang, Z.; Zhang, L.; He, S.; Li, X.; Jin, R.; Liu, Q.; Chen, S.; Sun, H. High-moisture extrusion technology application in the processing of textured plant protein meat analogues: A review. Food Reviews International **2022**, 1–36.
- (61) Mazaheri Tehrani, M.; Ehtiati, A.; Sharifi Azghandi, S. Application of genetic algorithm to optimize extrusion condition for soy-based meat analogue texturization. Journal of food science and technology **2017**, 54, 1119–1125.

- (62) Neylon, E.; Arendt, E. K.; Zannini, E.; Sahin, A. W. Fundamental study of the application of brewers spent grain and fermented brewers spent grain on the quality of pasta. Food Structure **2021**, 30, 100225.
- (63) Teixeira, C.; Prykhodko, O.; Alming, M.; Fåk Hållenius, F.; Nyman, M. Barley products of different fiber composition selectively change microbiota composition in rats. Molecular nutrition & food research **2018**, 62, 1701023.
- (64) Lynch, K. M.; Steffen, E. J.; Arendt, E. K. Brewers' spent grain: a review with an emphasis on food and health. Journal of the Institute of Brewing **2016**, 122, 553–568.
- (65) Anderson, J. W.; Baird, P.; Davis, R. H.; Ferreri, S.; Knudtson, M.; Koraym, A.; Waters, V.; Williams, C. L. Health benefits of dietary fiber. Nutrition reviews **2009**, 67, 188–205.
- (66) Lewis, S. J.; Heaton, K. W. Stool form scale as a useful guide to intestinal transit time. Scandinavian journal of gastroenterology **1997**, 32, 920–924.